

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平8-266516

(43)公開日 平成8年(1996)10月15日

(51)Int.Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
A 6 1 B 5/055			A 6 1 B 5/05	3 9 0
G 0 1 R 33/28			G 0 1 N 24/02	Y

審査請求 未請求 請求項の数9 OL (全 8 頁)

(21)出願番号 特願平8-77367

(22)出願日 平成8年(1996)3月29日

(31)優先権主張番号 1 9 5 1 1 8 3 3 . 2

(32)優先日 1995年3月30日

(33)優先権主張国 ドイツ (D E)

(71)出願人 390039413

シーメンス アクチエンゲゼルシャフト
SIEMENS AKTIENGESEL
LSCHAFT
ドイツ連邦共和国 ベルリン 及び ミュ
ンヘン (番地なし)

(72)発明者 フランツ シュミット

ドイツ連邦共和国 エルランゲン ゲンゲ
ラーシュトラッセ 13

(72)発明者 シュテファン ノヴァーク

ドイツ連邦共和国 プロイニンクスホーフ
ザントライテ 7アー

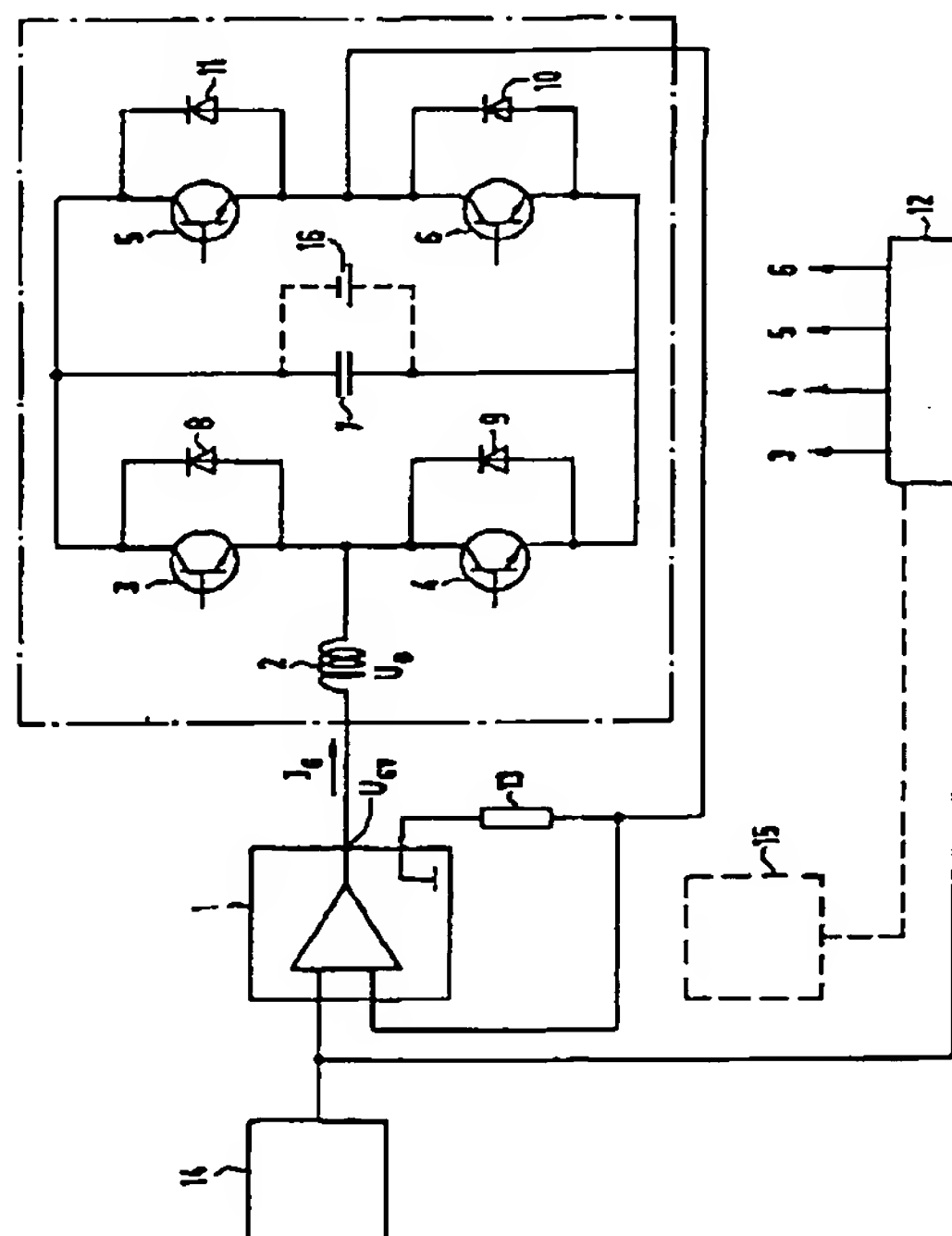
(74)代理人 弁理士 矢野 敏雄 (外2名)

(54)【発明の名称】 核スピントモグラフィ装置用グラジエント電流給電装置

(57)【要約】

【課題】 グラジエント電流給電装置を、僅かなコストで、短い上昇縁及び下降縁が得られるように構成すること。

【解決手段】 グラジエントコイルの電流給電は、グラジエントコイルと共に接続して直列共振回路を構成することができる付加接続できるコンデンサ及びグラジエント増幅器を介して行われる。グラジエント増幅器により、所定のグラジエント電流の導出に必要な電圧が少なくとも一部分供給される。グラジエントコイルと接続された前記コンデンサの共振周波数は、 $1/(4T_r)$ よりも小さく、その際、 T_r は、グラジエント電流 I_G の上昇縁乃至下降縁の持続期間である。



1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 核スピントモグラフィ装置用グラジエント電流給電装置において、

a) 制御可能なグラジエント増幅器(1)に、コンデンサ(7)を有するユニットが後ろに接続されており、前記コンデンサは、スイッチ(3~6)を介してグラジエントコイル(2)に直列に接続することができ、

b) 所定のグラジエント電流(I_G)の導出に必要な電圧は、少なくとも部分的に前記グラジエント増幅器(1)により供給され、場合によって付加的に必要な電圧は、前記コンデンサ(7)により供給され、

c) 前記グラジエントコイル(2)と接続された前記コンデンサ(7)の共振周波数は、 $1/(4T_r)$ よりも小さく、その際、 T_r は、グラジエント電流(I_G)の上昇縁乃至下降縁の持続期間であるように構成されていることを特徴とするグラジエント電流給電装置。

【請求項2】 グラジエント増幅器(1)の出力電圧(U_{GV})は、コンデンサ(7)の電圧と共に、グラジエントコイル(2)を流れる電流(I_G)の最も短い、所定の昇縁及び降縁が形成されるように制御される請求項1記載のグラジエント電流給電装置。

【請求項3】 グラジエント増幅器(1)の出力電圧(U_{GV})は、コンデンサ(7)の電圧と共に、グラジエントコイル(2)を流れる電流(I_G)の直線上昇縁及び直線下降縁が形成されるように制御される請求項1又は2記載のグラジエント電流給電装置。

【請求項4】 コンデンサ(7)は、測定系列の前に充電される請求項1~4のいずれか1記載のグラジエント電流給電装置。

【請求項5】 コンデンサ(7)は、共鳴作動中必要な電圧よりも高い電圧(U_{GO})で充電される請求項1~4のいずれか1記載のグラジエント電流給電装置。

【請求項6】 コンデンサ(7)は、測定系列の経過中、グラジエント増幅器(1)が所定の電流特性に必要な出力電圧を送出することができない場合に付加接続される請求項1~5のいずれか1記載のグラジエント電流給電装置。

【請求項7】 グラジエント増幅器(1)及びグラジエントコイル(2)に対して直列に、4つのスイッチ(3~6)のブリッジ回路が接続されており、ブリッジ対角線にコンデンサ(7)が設けられており、前記各スイッチ(3~6)に対して並列に、フリーホイールダイオード(8~11)が設けられている請求項1~6のいずれか1記載のグラジエント電流給電装置。

【請求項8】 スwitch(3~6)は、ユニット(15)を介して制御され、前記ユニットは、グラジエント電流(I_G)の上昇を検出して、該上昇が所定の限界値を越えると直ぐにコンデンサ(7)を作動接続する請求項1~7のいずれか1記載のグラジエント電流給電装置。

2

【請求項9】 スwitch(3~6)は、グラジエント電流(I_G)の目標値を用いて制御される請求項1~7のいずれか1記載のグラジエント電流給電装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、核スピントモグラフィ装置用グラジエント電流給電装置に関する。

【0002】

【従来の技術】ドイツ連邦共和国特許公開第3415041号公報から、核スピントモグラフィ装置用のグラジエント電流給電装置が公知であり、この装置は、制御可能なグラジエント増幅器及びこの増幅器の後ろに接続されたユニットを有しており、このユニットは、コンデンサを有しており、このコンデンサは、スイッチを介してグラジエントコイルに直列接続することができる。その際、グラジエント増幅器は、所定の電流の導出に必要な電圧を少なくとも一部分供給し、場合により付加的に必要な電圧は、コンデンサにより供給される。

【0003】グラジエントコイルの共振作動により、グラジエントコイルの短い上昇及び下降時間を実現され、この時間は、リニアグラジエント増幅器により実現されるが、非常にコスト高である。共振回路を用いたその他のグラジエント電流給電装置は、米国特許第5245287号明細書から公知である。その際、グラジエントの上昇縁、下降縁及び各グラジエントパルス的一定部分は、グラジエント増幅器を介して発生される。上昇縁及び下降縁に対しては、その都度、共振回路の一振動周期の $1/4$ 以下の期間しか利用されないため、この上昇縁及び下降縁は、正弦波振動の場合よりも急峻に形成することができる。いずれにせよ、各読みだし系列の開始前には、コンデンサが、読みだし系列中の、純粋な正弦波振動の場合に必要な電圧よりも高い電圧に充電されていることが前提となる。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】本発明の課題は、グラジエント電流給電装置を、僅かなコストで、短い上昇縁及び下降縁が得られるように構成することにある。

【0005】

【課題を解決するための手段】この課題は、本発明によると、a) 制御可能なグラジエント増幅器に、コンデンサを有するユニットが後ろに接続されており、前記コンデンサは、スイッチを介してグラジエントコイルに直列に接続することができ、

b) 所定のグラジエント電流の導出に必要な電圧は、少なくとも部分的に前記グラジエント増幅器により供給され、場合によって付加的に必要な電圧は、前記コンデンサにより供給され、

c) 前記グラジエントコイルと接続された前記コンデンサの共振周波数は、 $1/(4T_r)$ よりも小さく、その際、 T_r は、グラジエント電流の上昇縁乃至下降縁の持続期間で

あるように構成することにより解決される。

【0006】

【発明の実施の形態】本発明の有利な実施例は、従属請求項に記載されている。

【0007】グラジエントの高速スイッチングの問題点は、特に、いわゆるEPI (EchoPlanar Imaging) 方法の場合に生じる。従って、この方法について、図1a～eを用いて簡単に説明する。図1aによると、励起パルスRFは、図1bのグラジエントSSと共に、z-方向で被検対象に照射される。それにより、核スピンは、被検対象のスライス内で励起される。続いて、グラジエントSSの方向が反転され、その際、負のグラジエントSSにより、正のグラジエントSSにより生じた核スピンのデ

ィフェージングが解除される。

【0008】励起後、図1cによる位相エンコードグラジエントPC及び図1dによる読みだしグラジエントROが印加される。位相エンコードグラジエントPCは、読みだしグラジエントROの各極性切替毎に印加される短い個別パルス ("Blips") から形成されている。位相エンコードグラジエントPCには、夫々負の位相エンコード方向でのプリフェージンググラジエントPCVが先行する。

【0009】読みだしグラジエントROは、順次連続的に交互に切替えられる極性で印加され、そうすることによって、核スピンは、交互にディフェージング、リフェージングが繰り返され、その結果、図1eの信号Sの系列*

$$S(k_x, k_y) = \iint \rho(x, y) e^{i(k_x x + k_y y)} dx dy$$

【0011】その際、次の定義が成立する。

【0012】

【数2】

$$k_x(t) = \gamma \int_0^t G_x(t') dt'$$

【0013】

【数3】

$$k_y(t) = \gamma \int_0^t G_y(t') dt'$$

【0014】 ρ = 磁気回転比

γ = 核スピン濃度

G_x = 読みだしグラジエントROの値

G_y = 位相エンコードグラジエントRCの値

EPI方法の場合、高周波信号の位置コーディングのために非常に高いグラジエント振幅が必要である。核磁気共鳴信号が減衰してしまう前に、必要な情報を収集するためには、この高いグラジエント振幅は、短時間のうちにオン/オフされなければならない。投影 (つまり、読みだしグラジエントROの個別パルスの下での個別の信号の場合) のために、一ミリ秒のパルス期間Tが必要

*が形成される。その際、個別の励起の際、とりわけ、全フーリエk空間が検出される程多くの信号が得られ、即ち、完全なスライス画像の再構成のために十分な情報が得られる。このために、高い振幅での読みだしグラジエントROの極端に速い切替が必要であるが、MR画像形成で通常のように用いられる矩形パルス及び慣用の制御可能なグラジエント増幅器を以てしては殆ど実現できない。この問題点の慣用の解決手段としては、読みだしグラジエントROを発生するグラジエントコイルを共振回路で作動して、それにより、読みだしグラジエントROが正弦波形状を有しているようにするのである。形成された核磁気共鳴信号Sは、時間領域内で検出されて、デジタル化され、そのようにして形成された数値がローデータマトリクスに読み込まれる。ローデータマトリクスは、測定データ空間として、実施例の2次元の場合では、測定データ平面とすることができる。この測定データ空間は、核スピントモグラフィでは、k空間と呼ばれる。k空間内の測定データの位置は、図2では、複数の点によって略示されている。画像形成に必要な、信号寄与分の空間的起源についての情報は、位相ファクタでエンコードされており、その際、位置空間 (つまり、画像) とk空間との間では、数学的に、2次元フーリエ変換についての関係式が成立する。即ち：

【0010】

【数1】

であるならば、 128×128 の画像マトリックスの場合に全読み出し時間は、 128 ms である。一ミリ秒の長さの慣用の矩形波パルスを用いて、視野経 (field of view, FOV) を 40 cm とした場合、矩形波パルスでは、読みだしパルスROの典型的なグラジエント振幅 G_x は、以下の通りである。

【0015】

【数4】

$$G_x = \frac{2\pi}{\gamma \delta t \text{ FOV}} = 7.5 \text{ mT / m}$$

【0016】 $T_{rise} = 0.5 \text{ ms}$ の上昇時間で、傾斜部での信号の読みだしを行わない台形パルスの場合、比較的大きなグラジエントパルス G_T が得られる。

【0017】

【数5】

$$G_T = G_R \frac{T}{T - T_{rise}} = 2G_R = 15 \text{ mT / m}$$

【0018】グラジエント電流給電の場合、グラジエント増幅器の電圧強度の条件は、上昇時間の減少と共に問題点が多くなる。最大グラジエント強度 G_{max} を達成

5

するような電流 I_{max} が必要ならば、グラジエントコイルのインダクタンス L に基づいて必要な電圧は、以下の通りである。

$$【0019】 U = -L \cdot (di/dt)$$

この場合、グラジエントコイルでのオーミック電圧降下は、まだ考慮されていない。グラジエントコイルのインダクタンスが 1mH で、最大電流 I_{max} が 200A の場合、グラジエント増幅器の出力側に必要な電圧は、グラジエント電流の上昇時間 T_{rise} に依存して以下の値となる。即ち：

$$T_{rise} = 0.5\text{ms} \quad U = 400\text{V}$$

$$T_{rise} = 0.25\text{ms} \quad U = 500\text{V}$$

$$T_{rise} = 0.1\text{ms} \quad U = 2000\text{V}$$

この条件は、短い上昇時間で、共振回路なしでは、大きなコストを掛けて、典型的には、せいぜいモジュラータタイプのグラジエント増幅器の並列及び直列回路によってしか達成できない。

【0020】 比較的簡単に、短いスイッチング時間の問題を解決することができるのは、当該のグラジエントコイルをコンデンサと共に共振回路で作動した場合であり、その際、例えば、読みだしグラジエントROの、図1dに示した正弦波状の特性が得られる。この際、いずれにせよ、不利であるのは、時間的に一定間隔で信号をサンプリング走査する際、 k 空間内で等間隔のサンプリング点を得られないということであり、そのことは、図2の k 空間図示における等間隔でない点によって分かる。 k 空間内での等間隔でないサンプリング点は、画像再構成の場合に一連の問題を生じ、画像アーチファクトを引き起こすことがある。この問題を回避するために、冒頭に既述した米国特許公開第5245287号明細書に既に提案されているのは、共振作動中、グラジエントコイルの上昇縁及び下降縁だけを発生し、このグラジエントコイルの上昇縁と下降縁との間では、グラジエントコイルが一定値を有しているようにすることである。夫々正弦波状の振動の比較的急峻な部分を示す上昇縁及び下降縁は、信号測定のために実際には使用できず、それゆえ、出来る限り短くしなければならないのである。

【0021】 共振回路により高速グラジエントランプを発生する方式について、以下、図3の簡単な回路を用いて説明する。その際、グラジエントコイル G は、スイッチ $S1$ が閉じられている場合、直接グラジエント増幅器 GV と接続され、スイッチ $S2$ が閉じられている場合、コンデンサ C を介してグラジエント増幅器 GV と接続されている。コンデンサ C を介してグラジエント増幅器 GV と接続されている場合には、グラジエントコイル G は、コンデンサ C と共に直列共振回路を形成する。コンデンサ C が、例えば、グラジエント増幅器 GV 又は別個の補助電圧源を介して充電される場合、コンデンサ C は、次のような形式の電圧エネルギー E_c に充電される。即ち：

6

$$E_c = 1/2 C \cdot U^2$$

インダクタンス L のグラジエントコイル G に強度 I の電流が流れる場合、グラジエントコイル G は、次のような電流の形式のエネルギー E_L に充電される。即ち：

$$E_L = 1/2 L \cdot I^2$$

コンデンサ C が充電された場合、スイッチ $S2$ を閉じることによって、コンデンサ C の電圧をグラジエントコイル G に加えることができる。グラジエントコイル G の電流は、その際、正弦波状に零から電流最大値になる。エネルギーバランスに基づいて、コンデンサ電圧 U とコイル電流 I との間には次の関係式が成立する。即ち：

$$C \cdot U^2 = L \cdot I^2$$

所定電圧 U へのコンデンサ C の充電により、グラジエントコイル G により常に所定最大電流強度でのみ作動できるようになる。

【0022】 共振回路を用いて、コンデンサ C からグラジエントコイル G への、乃至グラジエントコイル G からコンデンサ C へのエネルギーの高速転送が可能になる。 T_R で、零から電流最大までの上昇時間（即ち、共振作動中、振動の半波）を示す場合、 T_R 、共振周波数 f_r 、グラジエントコイル G のインダクタンス L 、及びコンデンサ C のキャパシタンス C の間に次の関係式が成り立つ。即ち：

$$【0023】$$

【数6】

$$\frac{1}{4T_R} = f_r = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}}$$

【0024】 この式から分かることは、高速グラジエントランプは、共振周波数 f_r の上昇によってしか達成できないということである。このことは、共振作動中、上昇縁及び下降縁しか生じない場合にも該当するが、上昇縁と下降縁との間では、一定グラジエントが非共振作動中印加される。

【0025】

【実施例】 本発明の場合、前述の様な選定規則（短い上昇時間及び下降時間の場合の高い共振周波数）から逸脱することは、意外にも有利であることが分かった。このことについて、次に、図4の回路、及び図5～7の図を用いて詳細に説明する。

【0026】 本発明の本質的観点は、グラジエント増幅器が一定グラジエント部分の間だけ作動するのみならず、上昇縁及び下降縁の間も、制御された形式でグラジエント電流に作用する点にある。そうすることによって、有利にも、図5～7に示されているように、直線状の上昇縁及び下降縁を生じることができるのである。

【0027】 本発明の回路が図4に略示されている。そこで用いられるグラジエントパルスは、シーケンス制御部14によって供給される。グラジエント増幅器1では、所定の目標値が実際値と比較され、この実際値は、電流検出器、最も簡単には、例えば、シャント13を介

7

して取り出される。グラジエントコイル2は、一方では、直接、他方では、ブリッジ回路を介してグラジエント増幅器1に接続されている。ブリッジ回路は、4つの半導体回路素子、図示の場合、トランジスタ3～6から構成されている。これらのトランジスタ3～6の夫々には、フリーホイールダイオード8～11が並列接続されている。ブリッジ分岐には、コンデンサ7が設けられている。スイッチ3～6は、ドライバ回路12によって制御され、ドライバ回路は、シーケンス制御部14又はグラジエント電流の電流上昇検出器15を介して制御される。

【0028】図4の回路の種々の電流及び電圧特性が、図5～7に示されており、その際、グラジエントコイル2を流れる電流 I_G 、グラジエント増幅器1の出力側の電圧 U_{Gv} 、グラジエントコイル2の電圧 U_G 、コンデンサ7の電圧 U_C によって示されている。図5～6には、この値が、コンデンサ7の種々のキャパシタンス値に対して示されているが、その他は同じ前提条件であり、即ち、以下のパラメータは、図5～7の場合、同じであることが前提になっている。即ち：

－上昇乃至下降時間 $T_r = 100 \mu m$

－コンデンサ7の充電電圧 $2300 V$

－グラジエントコイルのインダクタンス $1200 \mu H$

－全電流回路のオーミック抵抗 $200 m\Omega$

10

20

*

$$U_{Gv} = R \cdot I_G(t) - L \cdot dI_G(t) / dt + (U_{Co} - \frac{1}{C \int I_G(t') dt'})$$

【0031】期間I Iでは、スイッチ3及び5は閉じられており、スイッチ4及び6は開かれている。従って、コンデンサ7は作動せず、グラジエント増幅器1は、一定電流では、スイッチング回路のオーミック損失分だけ

$$U_{Gv} = R \cdot I_G$$

期間I I Iでは、最後に、全てのスイッチ3～6が開かれ、その結果、グラジエント電流 I_G が、フリーホイー※

$$U_{Gv} = R \cdot I_G(t) - L \cdot dI_G(t) / dt - (U_{Co} - \frac{1}{C \int I_G(t') dt'})$$

【0033】図6には、図5と同じ量が表示されているが、その際、コンデンサ7は、ここでは、比較的小さなキャパシタンス、即ち、 $26 \mu F$ ($527 \mu F$ ではなく)を有している。それ故、共振周波数は、ここでは比較的高い。その際、以下のことが明らかとなる。即ち：グラジエント増幅器1は、コンデンサ7の電圧 U_C が降下する際に直線状の上昇側縁を維持するためには、比較的大きな電圧領域 U_{Gv} で制御しなければならない。同じ上昇時間 T_r を得るためには、グラジエント増幅器1の比較的大きな最大出力電圧 U_{Gv} (即ち、およそ $1200 V$ ：図5の実施例では $800 V$ であるが)が必要であり、即ち、グラジエント増幅器1はコスト高である。

【0034】図3の実施例の場合 (コンデンサ1のキャパシタンスは、僅か $9 \mu F$ である)、結局、同じ上昇時

20

【0030】

【数7】

※ルダイオード8、コンデンサ7及びフリーホイールダイオード10を介して流れる。その際、コンデンサCの電圧 U_C 並びにそれに対して付加的な、グラジエント増幅器1の出力側の正の電圧 U_{Gv} によって、急俊な電圧降下が達成される。グラジエント増幅器1の出力側の電圧 U_{Gv} は、次の式によって示される。即ち：

【0032】

【数8】

間 T_r の場合、グラジエント増幅器1は、ほぼ $2000 V$ の最大出力電圧が必要である。

【0035】実際には、グラジエント増幅器1の出力電圧領域は、決定的な技術的及び経済的基準を示す。しかし、前述の考察から分かるように、グラジエント増幅器1の同じ最大出力電圧の場合、振動回路コンデンサ7ーグラジエントコイル2の共振周波数が大きければ大きい程、つまり、グラジエントコイル2の同じインダクタンスの場合、コンデンサ7が大きく選定されればされる程、比較的小さい上昇時間 T_r を達成することができる。このことは、冒頭で詳述した、共振回路を有するグラジエント電流給電での共振周波数と上昇時間との関係から分かる。

【0036】グラジエント増幅器1についての期間I及

びI I Iでの電流側縁を既述のように調整することによって、有利には、既述のように、コンデンサ7を十分大きく選定すると、グラジエント増幅器1の限界電圧強度でもグラジエント電流 I_G を高速で直線的に上昇させることができる。

【0037】コンデンサ7は、グラジエント増幅器1の出力電圧 U_{GV} が、グラジエントコイル2による十分に高速な電流上昇乃至電流下降を行うのに十分ではない場合に初めて、スイッチ3～6を介して付加接続して助ける必要がある。それ故、スイッチ3～6の制御は、例えば、電流 I_G の上昇を検出するユニット15を介して行なうことができ、その際、コンデンサ7は、必要な極性に依じて、電流 I_G の上昇が、グラジエント増幅器1の最大出力電圧により予め与えられた所定の量を越えたと即座に、スイッチ4及び5乃至3及び6のスイッチオンにより接続される。しかし、ドライバ回路12を介してのスイッチ3～6の制御は、グラジエント電流 I_G の目標値を設定するシーケンス制御部14から直接行なうこともできる。

【図面の簡単な説明】

【図1】問題点の説明に供するための従来技術のEPI系列

【図2】図1の系列のk-空間内で検出される信号の位置を示す図

【図3】電流及び電圧経過特性の説明に供する簡単な共振回路を示す図

【図4】本発明の実施例の回路を示す図

【図5】コンデンサの大きさに依存する種々の電流及び電圧経過特性曲線を示す図

【図6】コンデンサの大きさに依存する種々の電流及び電圧経過特性曲線を示す図

【図7】コンデンサの大きさに依存する種々の電流及び電圧経過特性曲線を示す図

【符号の説明】

1 グラジエント増幅器

2 グラジエントコイル

10 3～6 スイッチ、トランジスタ

7 コンデンサ

8～11 フリーホイールダイオード

12 ドライバ回路

13 電流検出器、シャント

14 シーケンス制御部

15 グラジエント電流 I_G の上昇を検出するためのユニット

16 補助電圧源

I_G グラジエント電流

20 U_C コンデンサ7の電圧

U_G グラジエントコイルの電圧

U_{GV} グラジエント増幅器の出力電圧

U_{C0} コンデンサ7の充電電圧

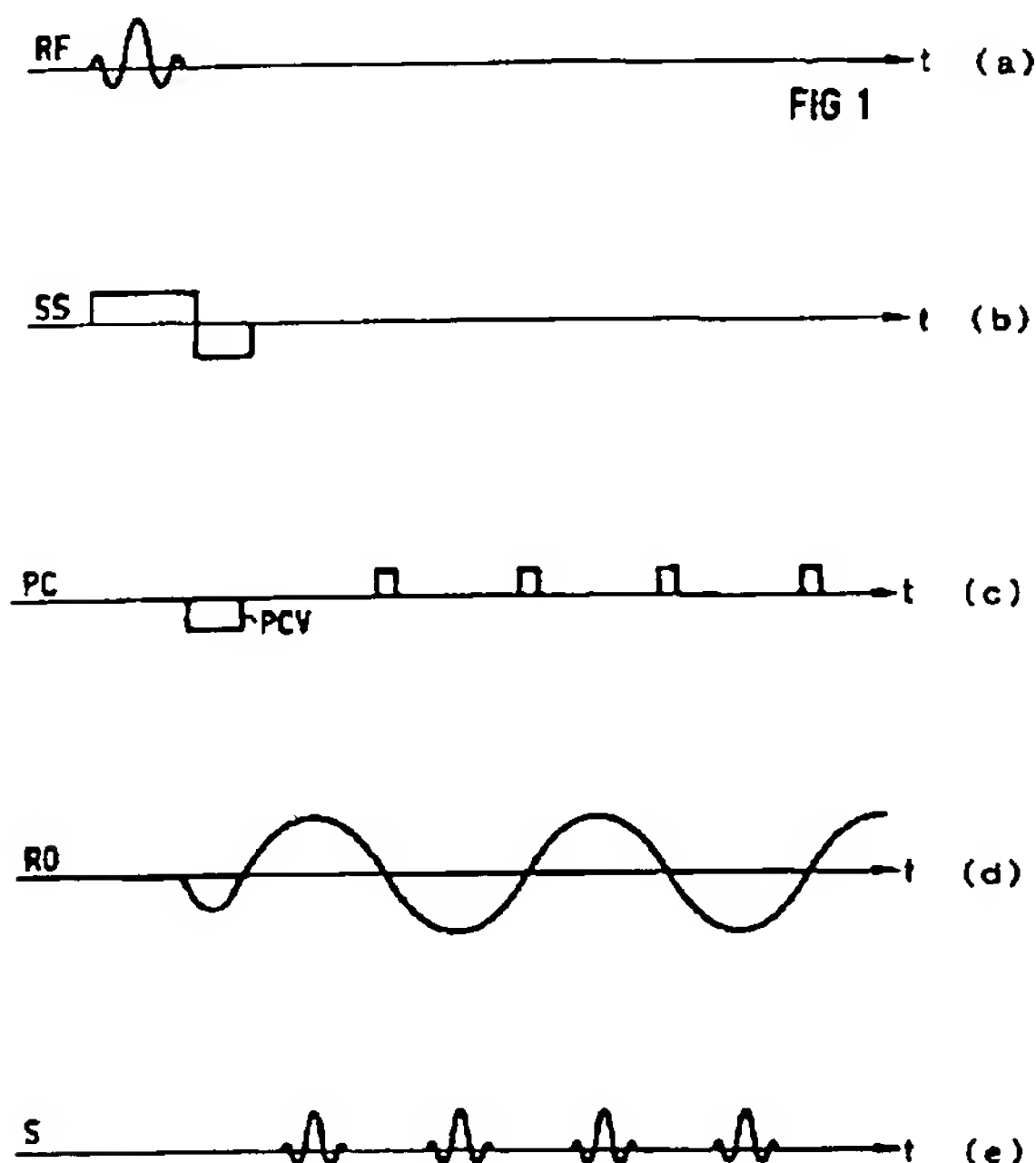
GV グラジエント増幅器

S1, S2 スイッチ

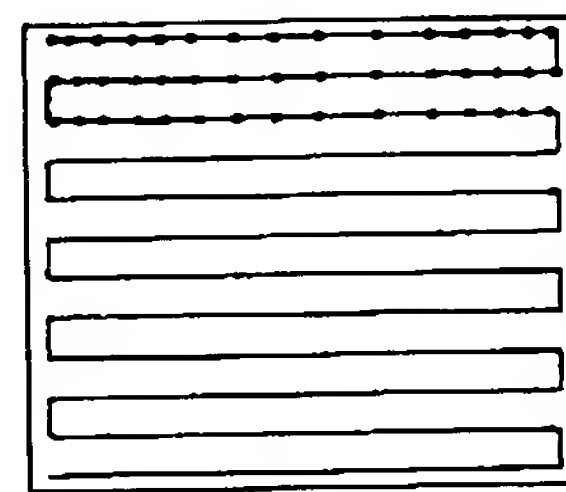
C コンデンサ

G グラジエントコイル

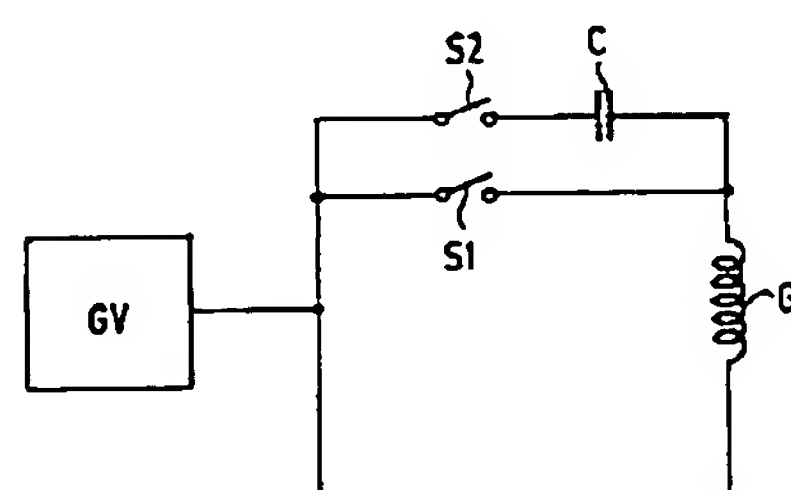
【図1】



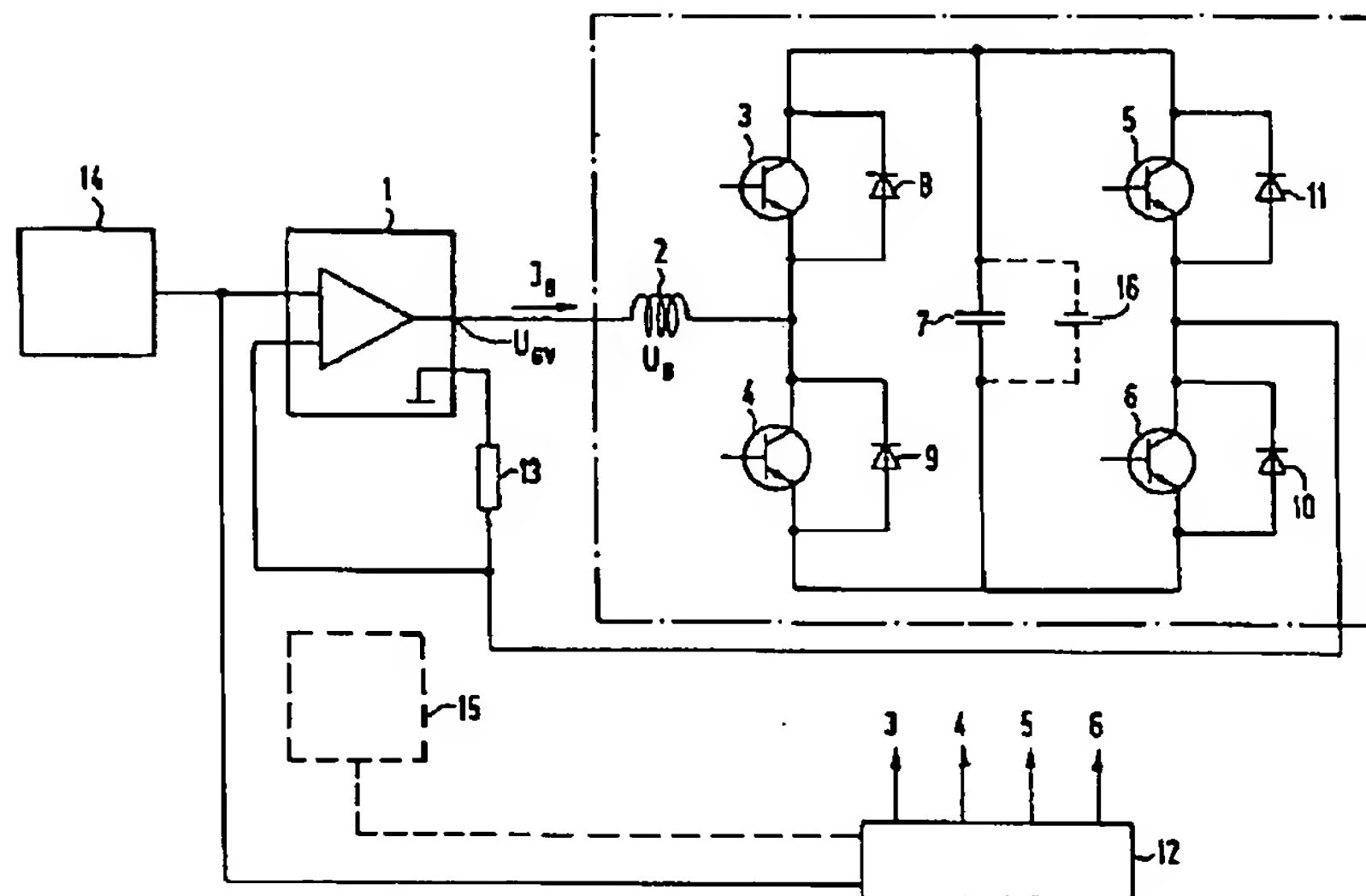
【図2】



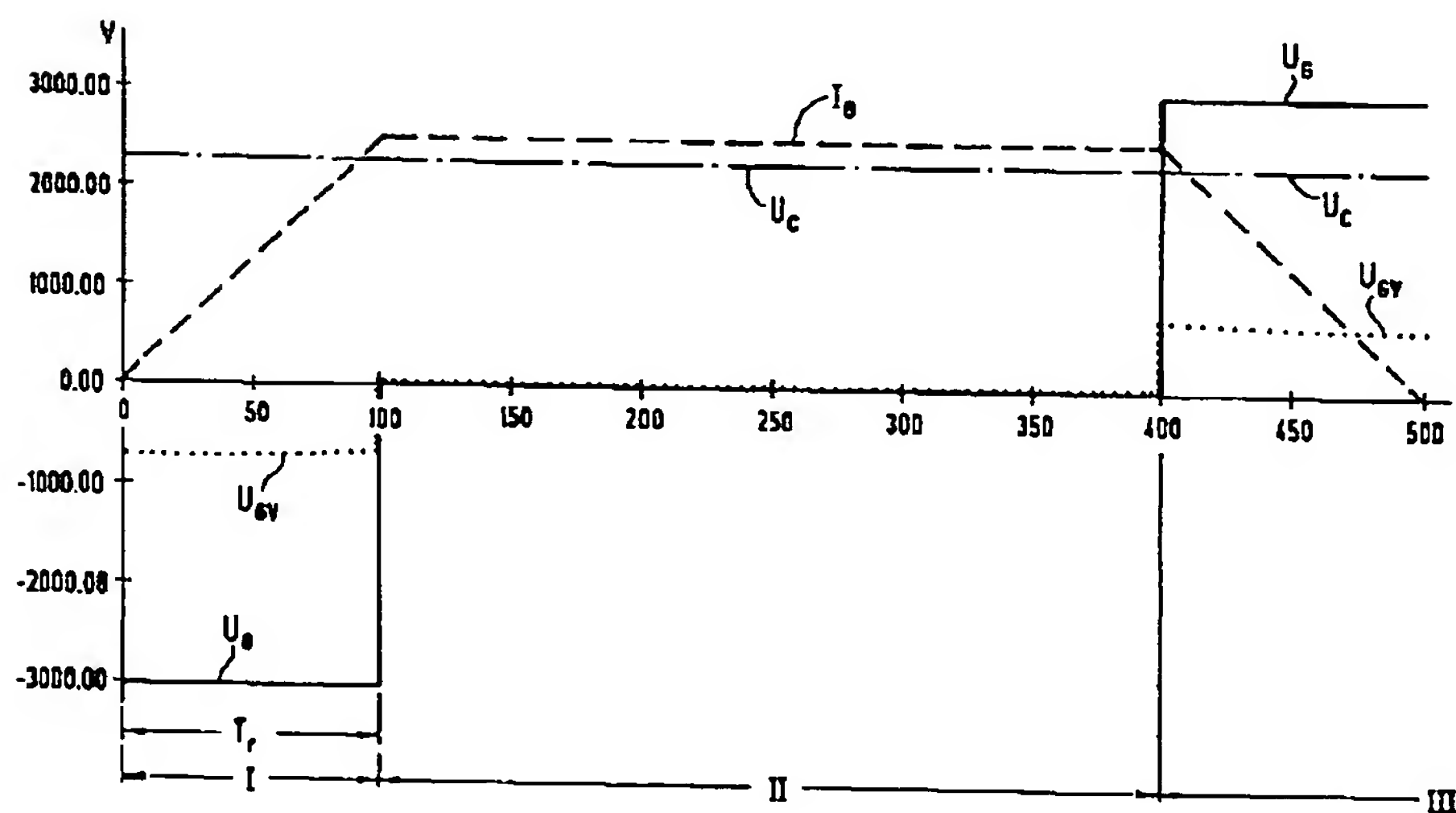
【図3】



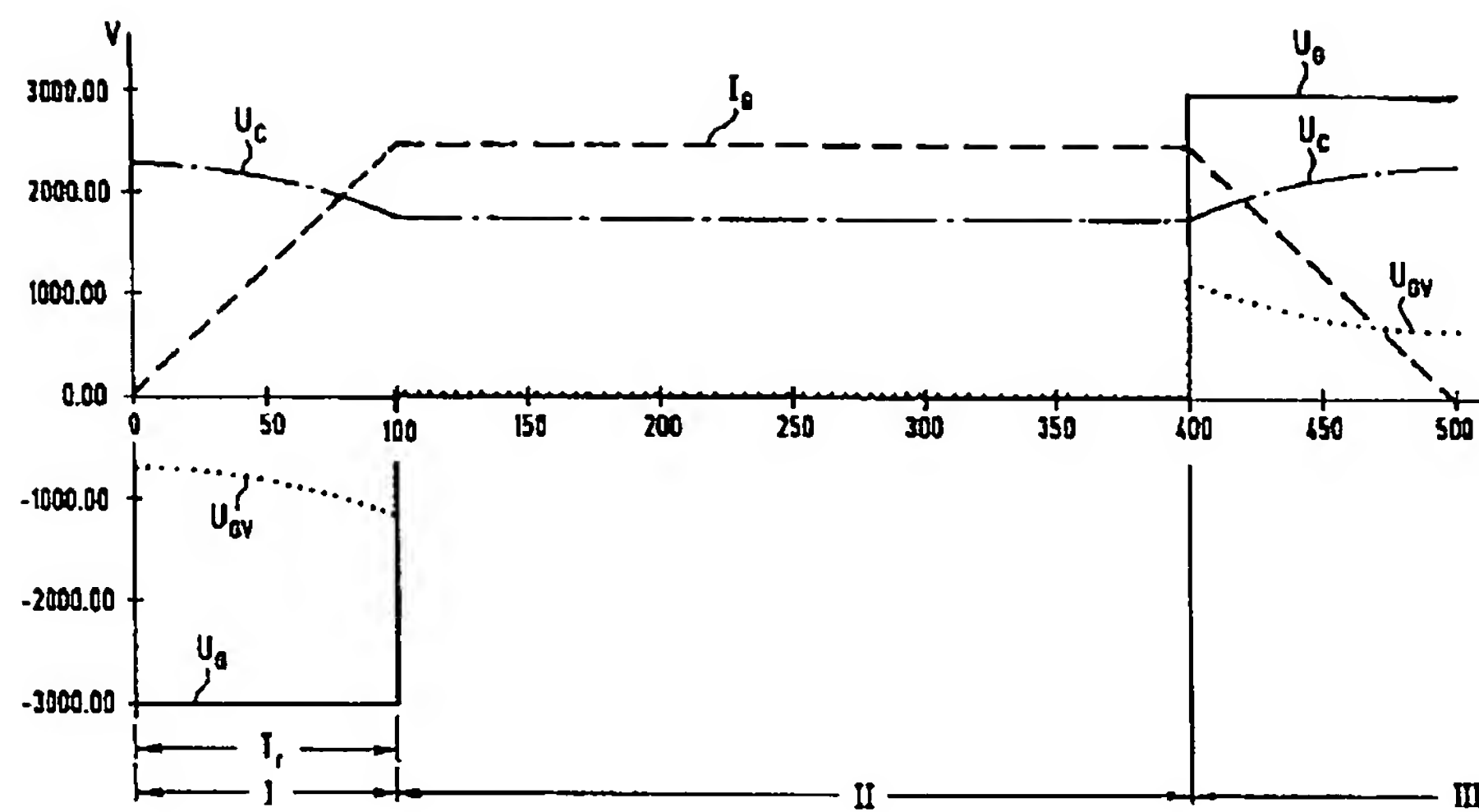
【図4】



【図5】



【図6】



【図7】

